

## Un paradiso fragile

La barriera corallina toglie il fiato per la sua bellezza.

Ma dagli inizi degli anni '80 le barriere coralline hanno iniziato a soffrire; il primo evento di sbiancamento di massa dei coralli ha devastato la Grande Barriera Corallina australiana nel lontano 1998 ([wisesociety](#)).

Da quasi altrettanti anni, però, il mondo scientifico – con il coinvolgimento delle popolazioni locali – sta cercando di salvare le barriere coralline esistenti, ripristinandole.

### L'ECOSISTEMA “BARRIERA CORALLINA”

La barriera corallina – o *coral reef* – è una formazione sottomarina tipica dei mari e degli oceani tropicali e più della metà delle barriere del mondo si trova in soli sei Paesi: Australia, Indonesia, Filippine, Papua Nuova Guinea, Fiji e Maldive.

Il substrato corallino è un'estesa formazione calcarea di origine animale formata da molti organismi, i più importanti dei quali sono i coralli costruttori i cui scheletri - costituiti da carbonato di calcio sotto forma di calcite - si accumulano generazione dopo generazione.

Il corallo - comunemente considerato come un singolo organismo - è in realtà una colonia formata da migliaia di polipi, ognuno dei quali grande solo pochi millimetri. Questi invertebrati marini appartengono alla classe Anthozoa (phylum Cnidaria).

Ciascun ramo di corallo è coperto da migliaia di piccoli polipi,

ognuno ospitato in una cavità dello scheletro detta calice. I polipi ospitano al loro interno le zooxantelle, termine generico con cui si indicano diversi organismi fotosintetici unicellulari, per lo più alghe dinoflagellate. Nella zona fotica del mare le zooxantelle fotosintetizzano assorbendo il diossido di carbonio liberato dal polipo, che a sua volta riceve l'ossigeno e i prodotti metabolici della fotosintesi ([wikipedia](#), [Museo Trieste](#)).

L'endosimbiosi fra alghe e polipi pare abbia avuto origine circa 160 milioni di anni fa ed è quindi sopravvissuta ai numerosi cambiamenti ambientali che hanno interessato il pianeta dal Giurassico in poi, riuscendo a recuperare dopo ciascuno di essi ([le Scienze](#)).

I polipi che vivono in una colonia corallina possono essere sia maschi che femmine e si riproducono sessualmente sia con fecondazione esterna in mare aperto sia con fecondazione interna, e in questo caso i polipi maschili emettono spermatozoi che vengono incubati in un polipo femminile. In entrambi i casi, dalla fecondazione si origina una planula (larva cigliata, bilatera e appiattita) che vaga grazie alle correnti marine prima di cadere sul fondo ove assume la forma di polipo che, adeso a una roccia, darà origine a una nuova colonia. Tipicamente la riproduzione sessuata nella barriera si verifica in una certa data e ad una certa ora, in un evento conosciuto come “deposizione delle uova sincronizzata” (*multi-species synchronous spawning*).

I coralli si riproducono solo

se sono sani. Se sono stressati dalla scarsa qualità dell'acqua, dal suo riscaldamento o dalla pesca eccessiva, consumano la loro energia per la sopravvivenza e non per la riproduzione. Per assicurare un futuro alle barriere coralline è quindi importante che i coralli vengano mantenuti sani.

Il corallo può riprodursi anche asessualmente. Esso può frammentarsi a causa di perturbazioni naturali (come tempeste, cicloni o predatori) e il frammento, se si trova in ambiente favorevole, continuerà a crescere formando una nuova colonia.

La riproduzione sessuata permette quindi la propagazione dei coralli in nuove aree mentre quella asessuata rafforza localmente la copertura del fondale ([oceano](#)).

Le barriere coralline sostengono più diversità biologica di ogni altro ecosistema marino al mondo: sebbene coprano meno dello 0,1% della superficie della Terra ospitano 4.000 specie di pesci, 840 specie di coralli e oltre 1.000.000 di specie di altri animali ([coral](#)).

Le catene alimentari delle barriere coralline sono ricche e complesse: sono presenti animali detritivori, planctofagi, consumatori primari, carnivori e perfino animali che si nutrono del corallo stesso ([wwf](#)).

Per la loro sopravvivenza i coralli richiedono intervalli di variazione ottimali di alcuni fattori ecologici: se questi vengono superati i coralli si stressano, deperiscono e possono persino morire.

Ad esempio, l'acqua deve essere trasparente e non contami-

nata. Quando i reflui dell'attività umana vengono scaricati nell'ambiente marino vi immettono sostanze chimiche, nutrienti e batteri che possono essere dannosi; in particolare i nutrienti – composti del fosforo e dell'azoto – consentono alle macroalge di proliferare e di entrare in competizione con i coralli per lo spazio. Inoltre, poiché la maggior parte dei coralli costruttori dipende dalla simbiosi con le zooxantelle, l'acqua torbida e la copertura dei coralli da parte dei sedimenti limitano la penetrazione della luce impedendo la funzione fotosintetica delle zooxantelle.

Anche la temperatura è un fattore molto importante. Sebbene i valori assoluti favorevoli varino parecchio in funzione della posizione geografica e della specie, molti coralli costruttori prosperano solo quando l'acqua presenta intervalli di temperatura piuttosto ristretti. La maggior parte dei coralli duri predilige temperature dell'acqua che vanno da 23 a 29 °C, anche se alcune specie possono tollerare temperature basse fino a 20 °C e altre alte fino a 32 °C. Alcune ricerche hanno dimostrato che i coralli sani si possono adattare a moderati innalzamenti delle temperature oceaniche ([coral1](#), [coral2](#)).

## LO SBIANCAMENTO DEI CORALLI: COME, PERCHÉ E DOVE

Come accennato, i polipi dei coralli hanno una relazione simbiotica con le zooxantelle, prevalentemente alghe microscopiche del genere *Symbiodinium*.

Il ciclo vitale delle zooxantelle si compone di due fasi principali: di una forma libera dotata di motilità perché flagellata (*mastigote*) e di una forma endosimbionte non mobile (*coccoide*). Lo stadio mastigoido è in grado di disperdersi a

breve distanza e presenta chemiotassi verso fonti di azoto; una volta entrato nell'ospite, diviene una cellula coccoide e va incontro a veloce proliferazione, occupando a volte l'intero citoplasma delle cellule ospiti. Le coccoidi sono cellule fotosintetiche metabolicamente attive in grado di sintetizzare proteine e acidi nucleici ([wikipedia](#)).

Ogni centimetro cubo di corallo contiene in media un milione di zooxantelle. Esse forniscono al polipo alcuni nutrienti organici come glucosio, glicerolo e amminoacidi. In cambio i coralli – che ottengono fino al 90 % dei loro nutrienti dai simbionti – forniscono alle zooxantelle riparo e un apporto costante di diossido di carbonio per la fotosintesi ([wikipedia](#)).

Lo sbiancamento (o *coral bleaching*) è causato dalla fuoruscita delle zooxantelle dal corallo. Per assicurare la sopravvivenza a breve termine – ad esempio quando la temperatura dell'acqua sale – i polipi espellono infatti le zooxantelle perché esse iniziano a produrre specie reattive dell'ossigeno (ROS, che includono sia radicali liberi che specie non radicaliche) tossiche per i polipi stessi. Poiché le zooxantelle determinano la maggior parte della colorazione dei coralli, i tessuti trasparenti dei polipi rivelano lo scheletro costituito da carbonato di calcio. La maggior parte dei coralli sbiancati appare bianca ma alcuni esemplari sono blu, gialli o rosa a causa della presenza di pigmenti proteici nel corallo.

I coralli privi delle zooxantelle continuano a vivere per un certo periodo ma divengono più vulnerabili alle malattie e all'inedia; se le condizioni tornano normali alcuni esemplari possono riprendersi ma la maggior parte dei coralli sbiancati muore. Come detto, i coralli possono sopravvivere per un breve periodo a condizioni ne-

gative ma tale probabilità diminuisce se la condizione che ha indotto all'espulsione delle zooxantelle persiste; perché essi si riprendano dallo sbiancamento, le zooxantelle devono rientrare nei tessuti dei polipi e riprendere la fotosintesi per alimentarli nuovamente.

Il *coral bleaching* può essere causato da numerosi fattori.

Oltre all'aumento o alla riduzione della temperatura dell'acqua, le cause del fenomeno possono essere: aumento dell'irraggiamento solare o della sedimentazione, infezioni batteriche, variazioni della salinità, presenza di erbicidi, marea molto bassa, pesca con il cianuro<sup>(1)</sup>, polveri minerali portate da tempeste di sabbia, ingredienti non biodegradabili dei comuni prodotti solari, acidificazione degli oceani, sversamenti di oli o altre sostanze chimiche, squilibrio del rapporto fra nitrati e fosfati nel mare, condizioni meteorologiche estreme.

Mentre cause scatenanti locali innescano sbiancamenti su aree limitate, gli eventi di sbiancamento di massa degli ultimi decenni

(1) La pesca col cianuro nasce nelle Filippine negli anni '60 dello scorso secolo per procurare pesci vivi per acquario e si è successivamente affermata per catturare pesci vivi da vendere ai ristoranti asiatici (cernie soprattutto). I pescatori sbriciolano una tavoletta di cianuro in una bottiglia di plastica contenente acqua di mare: quando trovano una preda la cospargono di una quantità di soluzione sufficiente a stordirla. Ovviamente questo metodo di pesca non è selettivo e reca danno anche agli organismi senza interesse commerciale e le continue esposizioni del reef a nuvole di cianuro causano la graduale morte dei coralli. Nonostante la pesca col cianuro sia illegale in tutti i Paesi dell'Indo-Pacifico, solo le Filippine stanno iniziando a prendere misure concrete per contrastarla, ad esempio attraverso la formazione dei pescatori ([Eniscuola](#)).

sono stati determinati prevalentemente dall'aumento della temperatura dell'acqua causato dai cambiamenti climatici.

Fra il 1979 e il 1990 si sono verificati sessanta episodi importanti di sbiancamento di massa che hanno coinvolto barriere di ogni parte del mondo sebbene l'evento più lungo e più distruttivo sia stato causato da El Niño<sup>(2)</sup> dal 2014 al 2017, periodo nel quale più del 70 % delle barriere coralline del mondo è stato danneggiato in conseguenza del surriscaldamento delle acque costiere del Pacifico.

La Grande Barriera Corallina (Australia di Nord-Est) ha vissuto il suo primo sbiancamento importante nel 1998 e da allora gli episodi sono diventati più frequenti: tre sono accaduti nel periodo 2016-2020 e si prevede che si verificheranno almeno tre episodi di sbiancamento al decennio se il riscaldamento delle acque oceaniche si manterrà a 1,5 °C sopra la media.

Nell'attuale decade, uno sbiancamento di massa di proporzioni gigantesche è iniziato nel febbraio 2023 colpendo le barriere di 54 nazioni e procurando danni importanti, con la mortalità che ha raggiunto il valore del 93% nelle zone delle coste del Pacifico vicino

(2) El Niño e La Niña sono fasi opposte del ciclo naturale ENSO (El Niño-Southern Oscillation) durante il quale le temperature superficiali oceaniche della zona centrale e orientale del Pacifico equatoriale fluttuano fra valori più caldi (El Niño) e valori più freddi (La Niña) rispetto alla media di lungo termine. L'alternanza delle fasi è continua ma irregolare: gli eventi si presentano in media ogni 2-7 anni con El Niño di solito più frequente. Il ciclo ENSO implica un'interazione oceano-atmosfera per cui alla variazione della temperatura superficiale del mare si accompagnano anche modifiche cicliche nella circolazione atmosferica ([reclima](#)).

al Messico ([wikipedia](#)).

Tra la fine del 2024 e l'inizio del 2025 un esteso sbiancamento ha iniziato a verificarsi anche a Ningaloo Reef, nell'Australia di Nord-Ovest. Il fenomeno è stato innescato da un'onda di calore dell'Oceano Indiano che ha portato, in alcuni punti, ad un aumento di 4 °C della temperatura usuale delle acque superficiali; purtroppo l'aumento della temperatura interessa anche le acque profonde e ciò potrebbe arrestare il naturale processo di raffreddamento dell'oceano, sottoponendo i coralli a un rischio ancora maggiore di sbiancamento (Fig. 1). Questo fenomeno è causato dall'influenza che le condizioni di La Niña e del suo opposto El Niño esercitano sul tempo meteorologico del Pacifico ([theconversation](#)).

## IL RIPRISTINO

Per tentare di salvare le barriere coralline è necessario agire con urgenza contro le minacce locali, ma soprattutto è indispensabile contrastare il riscaldamento

globale.

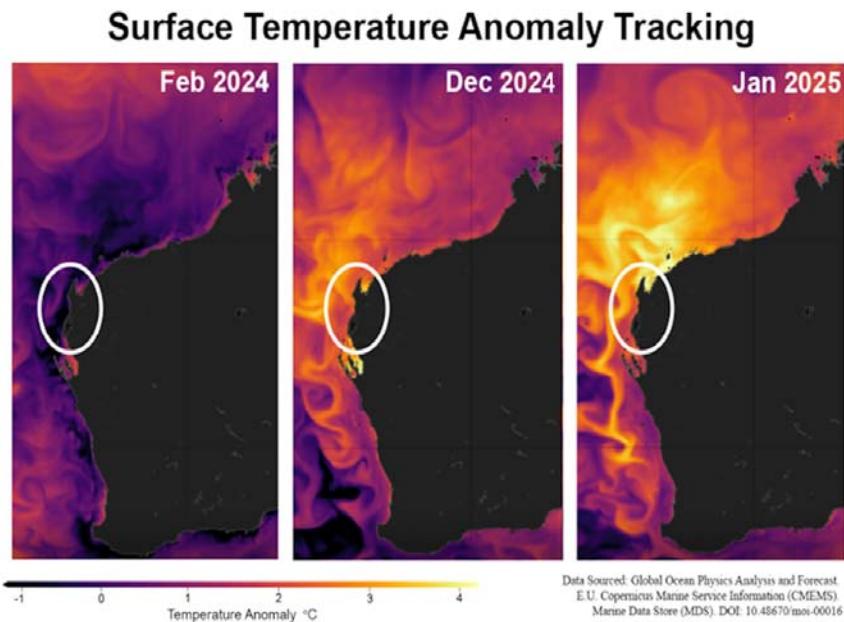
E – ovunque ciò sia possibile – occorre tentare di ripristinare le barriere degradate.

## Il Coral gardening

Come precedentemente detto, il corallo può riprodursi anche asessualmente: un frammento può infatti riformare una nuova colonia, e ciò rende possibile il trapianto di coralli da un sito all'altro.

La tecnica di riforestazione marina – o *Coral gardening* – consiste nel trapiantare frammenti di corallo sano su barriere degradate, favorendone la ricrescita. I biologi marini selezionano coralli sani e resistenti, i frammenti vengono coltivati in vivai (sia *in situ* sia *ex situ*) dove crescono in condizioni controllate e, una volta diventati abbastanza forti, vengono trapiantati sulla barriera corallina per ripristinarla ([maldives365](#)).

Per eseguire il trapianto vengono utilizzati materiali che permettano l'adesione del corallo al substrato sottomarino in tempi di indurimento ottimali in quanto il



**Fig. 1.** Progressione dell'onda di calore dell'Oceano Indiano. L'ovale bianco indica la posizione di Ningaloo Reef. Le temperature inferiori sono segnate in blu e in viola, quelle più calde in giallo e arancione (fonte: [theconversation](#)).

corallo deve mantenersi in posizione contro le correnti marine, che potrebbero spostarlo e ridurre il successo del trapianto stesso. Mentre i prodotti attualmente in commercio consistono generalmente in resine epossidiche che presentano tempi di indurimento lunghi (da un'ora a un giorno intero), sta per essere brevettato un nuovo prodotto rivoluzionario formulato da ricercatori italiani. Si tratta di uno stucco biodegradabile costituito da due componenti derivati dalla soia e dal mais, uno contenente un radicale attivatore e l'altro un radicale acceleratore; quando i due componenti vengono miscelati, lo stucco per coralli si indurisce sott'acqua nel giro di 20-25 minuti ([Advanced](#)).

Il *Coral gardening* richiede cospicui investimenti in tempo e denaro, e richiede di impiantare un gran numero di coralli per etarо.

Negli anni 2013-2015 è stato realizzato un grande intervento di ripristino in un'isola indonesiana in cui le barriere erano state distrutte dalla pesca illegale con esplosivo, dalla costruzione di un canale navigabile e dall'estrazione del corallo per l'edilizia locale in un periodo che andava dai 40 ai 20 anni precedenti. Il ripristino ha interessato un'area di più di due ettari, costituita prevalentemente da detriti instabili: ciò ha richiesto l'installazione di speciali supporti esagonali (denominati *spider*) in grado di garantire la stabilità ai coralli trapiantati (Fug. 2). Sono stati posizionati 11000 *spider*, per una superficie complessiva di 7000 m<sup>2</sup> e un costo di 174000 US\$. La struttura di questi supporti favorisce la crescita dei coralli in quanto è piuttosto sottile e quindi permette il flusso dell'acqua, indispensabile per il metabolismo corallino, e favorisce anche il rimescolamento dei gameti. La copertura di coralli

vivi sugli *spider*, inizialmente del 10 %, ha superato il 60 % dopo circa quattro anni ([Williams et al., 2019](#)).

Con lo stesso metodo, negli anni 2018-2019, è stato realizzato un nuovo grande ripristino della barriera corallina in un'altra isola indonesiana. L'efficacia del ripristino è stata valutata attraverso lo studio del bilancio del carbonato – definito come l'equilibrio fra la produzione di carbonato di calcio e l'erosione – che influenza la capacità della barriera di sostenere importanti funzioni geo-ecologiche quali la complessità strutturale e la crescita verticale. Nel giro di quattro anni i coralli a crescita rapida hanno recuperato dal 17 % al 56 % della copertura corallina e il bilancio del carbonato è triplicato raggiungendo livelli simili a quelli delle colonie sane. Tuttavia, il contributo alla produzione di carbonato a livello di taxa è differente fra le aree ripristinate e le aree di controllo a causa dell'uso preferenziale dei coralli ramificati per i trapianti ([Lange et al., 2024](#)).

Considerato che il *Coral gardening* è adatto solo per ripristini di piccola scala, si stanno studian-

do e sperimentando altri approcci, idonei per far crescere più coralli in aree più vaste.

Fra questi spiccano i metodi basati sulla riproduzione sessuata.

## Il Coral IVF

Il metodo più importante è il *Coral IVF* (In Vitro Fertilization), tecnica basata sulla raccolta di uova e sperma da barriere sane per facilitare la fecondazione. La fecondazione può avvenire *ex situ*, cioè in acquari a terra, o *in situ* utilizzando speciali vasche galleggianti posizionate sopra la barriera.

Quando le larve sono sufficientemente sviluppate vengono rilasciate sopra le barriere danneggiate, sulle quali possono aderire e crescere.

Come già detto, il rilascio dei gameti è un evento che dura pochi giorni nell'anno e la riproduzione sincronizzata fra colonie aumenta la probabilità dell'incontro di gameti della stessa specie ([barrier-reef](#)).

In una sperimentazione del 2021, svolta nelle Filippine nordoccidentali, una zona di barriera (costituita da 3 parcelli di 25 m<sup>2</sup> l'una per il trattamento e altrettante per il controllo) è stata ripristinata rilasciando alte densità di larve di *Acropora tenuis*, un corallo costruttore le cui colonie hanno forma di ammassi corimboosi con rami solitamente ordinati e uniformemente distanziati di colore crema, verde o blu ([corals of the world](#)).

In cinque giorni i ricercatori hanno rilasciato sulle parcelli del trattamento ben 4,6 milioni di planule cresciute per 7-8 giorni, e quindi potenzialmente ottime per un rapido attecchimento. L'insegnamento iniziale delle larve è risultato molto alto, seguito da una certa mortalità degli stadi giovanili dei coralli. La maggior parte è però



**Fig. 2.** Lo *spider* per il *Coral gardening*.

sopravvissuta ed è cresciuta rapidamente dando vita a un significativo tasso di insediamento e di densità di coralli. Dopo due anni il diametro medio delle colonie ha raggiunto gli 11 cm e le colonie di diametro superiore ai 13 cm hanno prodotto gameti. Dopo tre anni il diametro medio delle colonie è diventato di 17 cm e la densità media di circa 6 colonie per m<sup>2</sup>, con la maggior parte delle colonie in grado di riprodursi sessualmente. Inoltre la percentuale di copertura delle parcelli di controllo è risultata molto simile a quella delle parcelli trattate, così come la struttura della comunità. Intorno alle parcelli trattate si è registrato anche un piccolo ma significativo aumento dell'abbondanza di pesci.

La rapida formazione di popolazioni di specie coralline in grado di riprodursi è molto importante per il ripristino delle barriere degradate perché consente di passare dalla scala locale a una maggiore, grazie ai milioni di gameti rilasciati ogni anno dalla nuova popolazione ([Harrison et al., 2021](#)).

Sebbene le differenti tecniche di ripristino siano maturate nel tempo, è necessario riconoscere che a fronte dei cambiamenti cli-

matici gli approcci convenzionali richiedono di essere modificati per diventare più proattivi. Ciò al fine di evitare che i ripristini effettuati con coralli intolleranti agli stress termici risultino poi inefficaci.

Occorre quindi gestire il cambiamento piuttosto che mantenere le condizioni preesistenti.

Se anni fa riportare una barriera corallina degradata allo stato originale era un obiettivo realistico, oggi la priorità in molte aree è quella di arrivare a un compromesso, sostenendo ecosistemi ad elevata resilienza climatica anche se essi rappresentano una versione a più bassa diversità e complessità rispetto a quelli iniziali ([Caruso et al., 2021](#)).

Le specie di coralli che prosperano negli ambienti più caldi sono ovviamente più tolleranti alle temperature più elevate: probabilmente riescono a sopravvivere alle ondate di calore, a riprodursi e a trasmettere i loro geni alla generazione successiva.

In laboratorio i ricercatori stanno mappando il DNA dei coralli resistenti agli stress termici nonché quello delle alghe endosimbionti al fine di identificare i marker genetici specifici. I ricerca-

tori pensano che si potrà migliorare la tolleranza al calore seguendo più strade, fra cui: l'incrocio selettivo fra coralli resistenti al calore e quelli meno resistenti; l'acclimatazione progressiva dei coralli attraverso aumenti graduali della temperatura, cui dovrebbe seguire la nascita di nuove generazioni più tolleranti; la somministrazione di probiotici in grado di sostenere la salute dei coralli rendendoli più resilienti nei confronti dei cambiamenti ambientali ([barrierreef](#)).

## CONCLUSIONI

I danni causati alle barriere coralline sono enormi e derivano in gran parte dalle attività umane.

Nonostante siano in atto interventi di ripristino localizzati, è del tutto evidente che la vera chiave di volta per migliorare le condizioni delle barriere coralline è la riduzione delle pressioni antropiche che su di esse gravano.

**Rossella Azzoni**

---

### Informazioni sull'Autrice

Socio fondatore ed ex Presidente CISBA, dirigente biologo in quiescenza di ARPA Lombardia.

e-mail: ross.azzoni@yahoo.com